

Ч.Ф. Якубов, канд. техн. наук, Симферополь, Украина

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ СОСТАВОВ СОТС И МЕТОДОВ ИХ ПОДАЧИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ**

*Досліджена можливість зміцнення контактних шарів швидкорізального інструмента в умовах мінімізованої витрати МОТЗ на основі рослинних олій.*

*Исследована возможность упрочнения контактных слоев быстрорежущего инструмента в условиях минимизированной подачи СОТС на основе растительных масел*

*The article shows the possibility of contact layers strengthening of metal-cutting tools during the process of cutting in MQL conditions where lubricant becomes vegetable oil.*

На острие приоритетных задач, стоящих перед машиностроительной отраслью Украины, лежит проблема перехода предприятий на экологически ориентированные производственные процессы. Ощутимый прогресс, достигнутый в области современных методов формообразования (лазерная обработка, гидроабразивное резание, различные способы 3D-CAD-моделирования, интегрированный метод ускоренного формообразования Rapid Prototyping), изначально проектируемых с учетом соблюдения жестких экологических стандартов, не получил широкого практического применения ввиду высокой себестоимости или ограниченного спектра эксплуатационных характеристик материализованных моделей. В отличие же от инновационных технологий традиционные процессы резания, с точки зрения производительности, точности и качества обработанных поверхностей продолжают охватывать самый широкий сегмент в области металлообрабатывающих производств. Одним из необходимых условий, обеспечивающих высокие показатели указанных преимуществ, является использование в процессе обработки смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), подавляющее большинство которых синтезируется на основе минеральных масел. Вместе с тем, наряду с интенсификацией современных производственных процессов, возрастают и требования в обеспечении их экологической безопасности. До последнего времени это обстоятельство не принималось во внимание, между тем эксплуатация традиционных составов СОТС заметно влияет не только на экологические, но и на социально-экономические аспекты процессов механической обработки металлов. В частности, такие операции, как приготовление, транспортировка, регенерация и утилизация СОТС, а также необходимость обезжиривания стружки и обработанных деталей при их дальнейшем использовании существенно изменяют основные финансовые показатели производственных процессов.

Ужесточение же санитарно-гигиенических, технологических, контрольных и, как следствие, административных мер, связанных с эксплуатацией СОТС, неизбежно влекут за собой и увеличение вспомогательных расходов. На рисунке 1 схематично обобщены основные и вспомогательные финансовые расходы металлообрабатывающих предприятий, связанные с эксплуатацией СОТС [1-4].



Рисунок 1 – Основные и вспомогательные расходы предприятий, связанные с эксплуатацией СОТС

Кроме того, традиционно используемые СОТС чрезвычайно вредны для здоровья человека и являются причиной роста числа профессиональных заболеваний. Отрицательное воздействие на организм человека проявляется как через непосредственный контакт, вследствие чего резко увеличивается вероятность возникновения кожных заболеваний, так и через атмосферу цеха, поражая дыхательную систему и другие жизненно важные органы [5,6]. Безусловно, такое положение требует пересмотра традиционных схем эксплуатации смазочно-охлаждающих технологических сред в сторону экономически эффективных и экологически ориентированных решений в этой области.

Цель статьи – показать эффективность применения экологически ориентированных составов СОТС и методов их подачи в условиях предварительной приработки быстрорежущего инструмента резанием.

На современном этапе развития инструментальной промышленности использование новейших марок сверхтвердых режущих материалов (поликристаллический алмаза – PKD, кубический нитрид бора – CBN, поликристаллический кубический нитрид бора – PKB и др.) и твердых сплавов с различными видами износостойких покрытий расширяют область, так называемой, «сухой» обработки. Однако опыт лезвийной обработки с применением традиционных инструментальных материалов в условиях полного отказа от применения СОТС обнаруживает целый ряд негативных технологических явлений:

- Интенсификация процессов адгезионного схватывания и, как следствие рост сил трения на контактных площадках, обуславливающий повышение тепловых нагрузок и износа режущего инструмента;
- Снижение размерной точности обработки;
- Увеличение шероховатости обработанной поверхности;
- Неравномерное изменение физико-механических свойств в поверхностных слоях детали;
- Ухудшения условий стружкообразования;
- Повышение уровня шума;
- Повышение тепловых нагрузок на узлы станка.
- Избыточное образование металлической тонкодисперсной (взрывоопасной) пыли при обработке алюминия, титана, магния и пр.;

В последнее время получила заметное развития технология резания с минимальным использованием смазывающего вещества (MMS-Minimal mengenschmierung или MQL-Minimum quantity lubrication), которая является наиболее реальной альтернативой «сухой» обработки.

Технология минимального смазывания (ТМС) - это малоотходная альтернатива общепринятому способу полноструйной подачи СОТС, целью которой является сокращение расхода смазывающе-охлаждающего материала при неизменной производительности процесса механической обработки и обеспечения качества получаемого продукта. С помощью современной высокоэффективной дозирующей техники смазывающий материал целенаправленно подается в контактную зону стружкообразования, где в процессе обработки полностью расходуется. Последнее означает резкое сокращение объемов потребления СОТС, и как следствие, существенное снижение техногенного воздействия на окружающую среду, что является

важным шагом в направлении гармонизации производственных процессов и природы. Этот принцип и заложен в основу конструирования новых дозирующих устройств, предназначенных для реализации концепции технологии минимального смазывания. Данная технология уже сегодня успешно реализуется и осваивается на ведущих мировых предприятиях машиностроительного профиля.

Конструкции дозирующих устройств позволяют обеспечивать подачу СОТС в минимально необходимом количестве, которое в каждом конкретном случае определяется индивидуально. Данные устройства проектируют на основе трех основных принципов: оптимальное дозирование, целенаправленная подача и качество подготовки воздушно-масляной среды.

Смазывающий материал подается в зону резания в виде аэрозоля путем внешнего или внутреннего подвода. Такое отличие является концептуальным с позиций классификации соответствующих устройств. (Рис. 2).

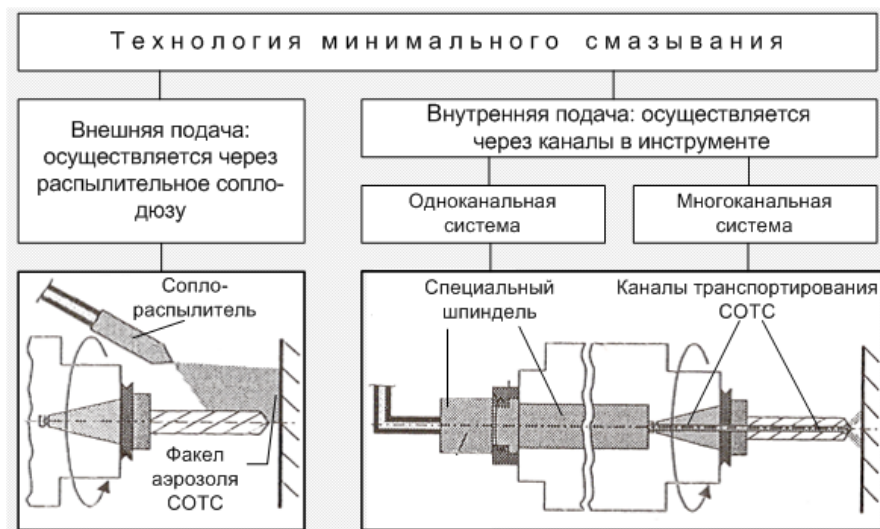


Рисунок 2 - Схематическое представление внешнего и внутреннего подвода воздушно-масляной смеси СОТС в зону резания

Конструкции для реализации наиболее распространенного метода внешней подачи СОТС относительно просты, универсальны и не требуют специальной модернизации шпинделя станка. Учитывая минимальные объемы подаваемого в зону резания смазывающего вещества, дозирующие распылительные наконечники должны обеспечивать локализацию пятна аэрозольного факела в зоне стружкообразования, что требует дополнительной регулировки их положения при изменении типа и длины инструмента. Однако

данный метод малоэффективен при глубоком сверлении и используется на станках с редкой сменой инструмента при обработке простых открытых поверхностей (Рис.3).

Универсальные системы ТМС для внешней подачи СОТС поставляются в качестве вспомогательного оснащения металлорежущих станков и эксплуатируются при основных видах механической обработки металлов (например: точение, сверление, фрезерование).

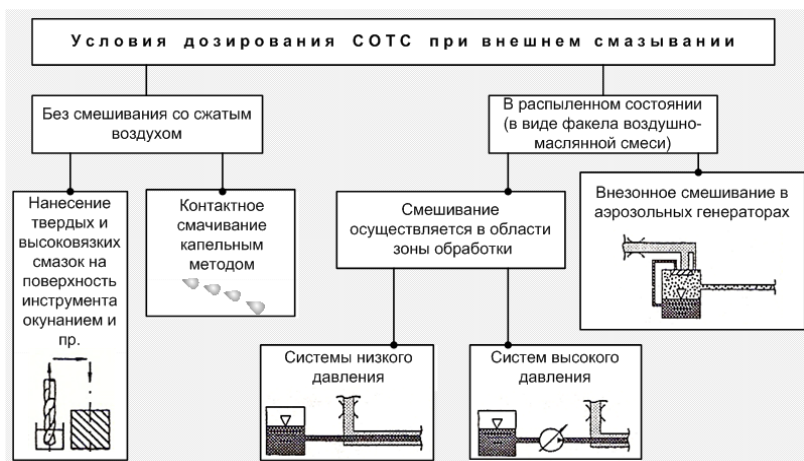


Рисунок 3 – Основные варианты подачи СОТС в зону обработки при внешнем смазывании

Значительно эффективнее внешнего - внутренний подвод смазочного материала, применение которого однако предусматривает существенные конструктивные и эксплуатационные трудности. Данные системы предназначены для доставки аэрозоля непосредственно в рабочую зону за счет специальной оснастки шпинделя и инструмента, снабженного внутренними каналами. Внутренний подвод СОТС через каналы в инструменте с выходом в зону резания получил широкое применение при обработке отверстий сверлами, зенкерами, развертками, протяжками и при нарезании резьбы метчиками. В зависимости от условий формирования воздушно-масляной среды имеется два основных принципа подачи СОТС в зону обработки: с образованием смеси «смазочное вещество-воздух» вне вращающегося шпинделя (или одноканальная система) и с отдельным подводом смазочного вещества и воздуха к шпинделю и образованием аэрозоля в непосредственной близости от инструмента (или многоканальная система). Второй способ применяется на быстрходных шпинделях и обеспечивает подвод аэрозоля к инструменту без расслаивания и ликваций.

Наряду с развитием и совершенствованием технологии минимального смазывания, оптимальным направлением с точки зрения экологической ориентированности процессов механообработки представляется применение в качестве СОТС веществ, не содержащих вредных компонентов. Наряду с синтетическими водосмешиваемыми веществами на основе полуфункциональных кислородосодержащих соединений, твердыми органическими смазками, парафиноподобными углеводородами различных модификаций и др., наиболее перспективными представляются масла растительной природы. Этот выбор обусловлен не только необходимостью снижения уровня загрязнения окружающей среды, но и важностью перехода от исчерпаемых сырьевых источников к расширенному использованию возобновимых ресурсов. Тут нужно отметить, что работы в этом направлении ведутся во всем мире. В области использования возобновимого сырья ведущая роль принадлежит биоресурсам – прежде всего масляничным сельскохозяйственным культурам. Относительная дешевизна по сравнению с биоразлагаемыми синтетическими продуктами обуславливает целесообразность расширения работ по использованию растительных масел в технике. Высокая же стоимость и дефицитность синтетически сложных эфиров при биоразлагаемости близкой к растительным маслам, существенно ограничивают их применение (Рис.4).

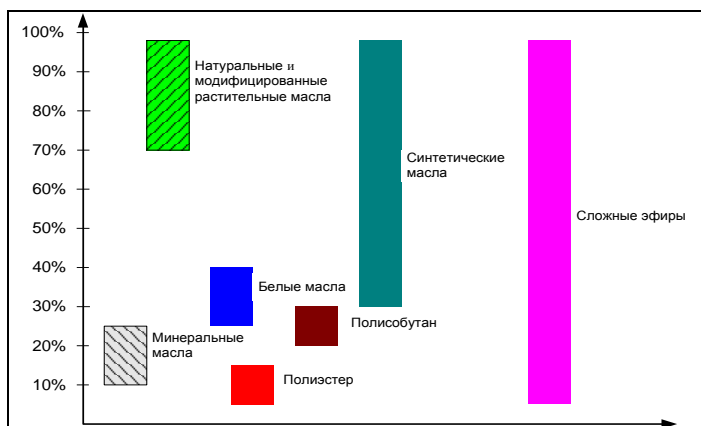


Рисунок 4 – Уровень биологического разложения различных смазок

Основными техническими преимуществами растительных жиров в сравнении с нефтяными маслами являются лучшие вязкостные и трибологические свойства. Это обстоятельство благоприятствует использованию жиров как смазочных материалов, а в ряде случаев дает возможность ограничить применение химически активных присадок вплоть до полного их исключения. Однако жиры имеют низкую

термоокислительную стабильность и их смазочные свойства при повышенных температурах падают. Эти характеристики удается улучшить путем смешивания растительных жиров с нефтяными маслами, но при этом неизменно ухудшаются экологические свойства смазочного материала.

С технико-экономических позиций наиболее предпочтительным представляется рапсовое масло. На сегодняшний день растут не только объемы мирового производства, но и расширяется область его использования в различных отраслях промышленности. Рапсовое масло не уступает минеральному по деэмульгирующей способности, а по склонности к пенообразованию, антикоррозионным и противоизносным свойствам значительно его превосходит. По смазочным свойствам рапсовое масло превосходит также и такие растительные масла, как касторовое, кукурузное, оливковое, подсолнечное и арахисовое [7].

Присутствующие в ненасыщенных жирных кислотах двойные связи являются по отношению к кислороду реактивными и поэтому подвержены легкому окислению. Более того, вследствие высокой чувствительности к гидролизу, образуются гидролитические спаивания, которые, как и окислация (старение), являются нежелательными. Эти недостатки обуславливают ограниченное использование триглицерида в областях с кратковременными или малыми нагрузками (напр. гидравлические устройства). С позиции применения их в качестве СОТС интересным, конечно же, является возможность модифицировать растительные масла добавками из жирных кислот так, что их смазывающие свойства будут повышаться. Например, добавками линолевой кислоты практически полностью удаляют токсическую эруковую (Рис.5). Этим же методом можно повысить сопротивление старению и снизить вредное влияние на здоровье человека.

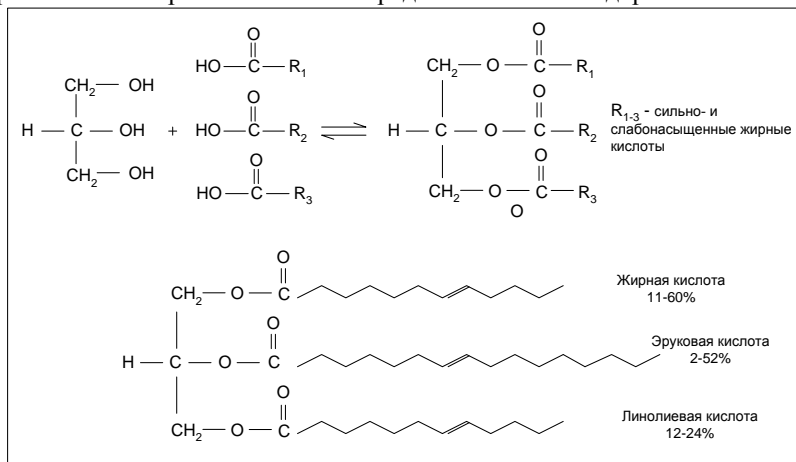


Рисунок 5 - Жирнокислотный состав рапсового масла

Как правило, в вопросе использования растительных масел в качестве СОТС, на передний план выдвигается экологический аспект. Однако это положение как бы скрывает роль позитивных свойств масел растительной природы. На основе результатов исследования трущихся пар открывается возможность целенаправленного изменения триботехнических свойств рапсового масла за счет введения функциональных добавок (олеиновая кислота, триэтаноламин и их соль олеа- триэтаноламина) [8]. Растительные масла отмечены позитивными экранирующими и антифрикционными свойствами для процессов обработки металлов давлением [9]. Проводятся исследования направленные на повышение эксплуатационных характеристик СОТС на основе растительных масел за счет ввода в их состав антиокислительных присадок [10,11].

Анализ существующей информации по созданию и практическому использованию композиций на основе растительных масел показывает, что они представляются фрагментарными исследованиями, и объем знаний в этой области все еще ограничен. Однако, при всем многообразии, они разрабатываются на основе единого требования – за счет снижения работы и температуры резания (трения) снизить уровень разупрочнения контактных слоев инструмента или предельно поддерживать их исходные свойства. Последнее отражает традиционный подход к проблеме стойкости, который формировался на допущении об исключительном разупрочнении контактных слоев инструмента в процессе резания. Однако, рабочие поверхности инструмента в процессе резания не только разупрочняются, но и могут упрочняться. Этот эффект, правомочность которого вытекает из анализа термодинамики контактного взаимодействия [12, 13], проявляется в начальном периоде процесса резания как результат приспособления его рабочих поверхностей (вследствие процессов самоорганизации) к внешним условиям нагружения. Он характерен для определенных условий резания и по аналогии с приработкой трущихся пар обнаруживает существенное повышение стойкости при его эксплуатации в стационарных режимах обработки. Условия приработки решающим образом влияют на стойкость инструмента, являются своеобразным ее регулятором. Стадия приработки, как стадия перестройки структуры инструментального материала, есть неизбежное условие процесса контактного взаимодействия при резании. Она обязательна для всех инструментов и уровнем «прирабатываемости» определяется эффективность практически всех решений, направленных на управление стойкостью. Основным механизмом в этом процессе является деформационное упрочнение, сопровождаемое ростом плотности дислокаций в объемах, примыкающих к рабочим поверхностям инструмента, и проявляемое наиболее полно при деформации стали в метастабильном состоянии, т.е. состоянии, в котором находятся контактные слои инструмента. Это положение предопределило возможные пути



интенсификации процесса упрочнения, одним из которых является повышения стойкости быстрорежущего инструмента в условиях повышения уровня контактных нагрузок (более 500 МПа) и при температурах 200°С...350°С.

Повышение удельных нагрузок имеет место и при применении СОТС, когда уровень снижения сил отстает от уменьшения площади контакта, и тем в большей мере, чем более превалирует смазочное действие. Обладающие высокой проникающей способностью растительные масла при их подаче в сочетании с технологией минимального смазывания, т.е при применении СОТС в отмеченных выше условиях, стимулируют развитие этих процессов.

С целью оценки влияния различных технологических сред на прирабатываемость быстрорежущего инструмента были поставлены сравнительные стойкостные исследования, которые проводились на операциях продольного точения и сверления. Процесс точения был выбран как наиболее информативный и методически удобный в изучении, а операция сверления как выполняемая преимущественно быстрорежущим инструментом и требующая, как правило, обязательного использования СОТС. Подача технологических смазывающих сред (за исключением эмульсии) осуществлялась дозирующим устройством Minicool в режиме минимального смазывания и при рабочем давлении воздуха 4 bar (Рис. 6).

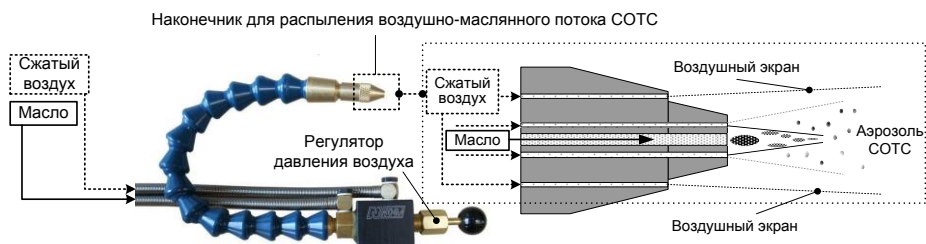


Рисунок 6 – Общий вид дозирующего устройства Minicool (образование воздушно-масляного аэрозоля реализуется на основе принципа Вентури).

Для обеспечения сравнительного анализа в качестве СОТС применялись индустриальное масло И-20, специальный состав технологической смазки на основе рапсового масла VP 231 и эмульсия 10%-ной концентрации.

В основе предложенной гипотезы (упрочнение рабочих поверхностей режущего инструмента) заложено неизбежное повышение нормальных нагружающих напряжений вследствие уменьшающего площадку контакта проникающего действия СОТС. Наряду с аналогичными, (не представленными в данной статье), исследованиями обработки различных материалов наиболее высокий уровень давлений развивался при резании титанового сплава ВТ 22. Измерения проводились в условиях резания в

режиме предварительной приработки в указанных средах в течении 7 минут (упрочнение приработкой) с последующим переходом на резание этим же резцом при повышенной скорости резания без СОТС.

Результаты стойкостных исследований представлены на рисунке 7

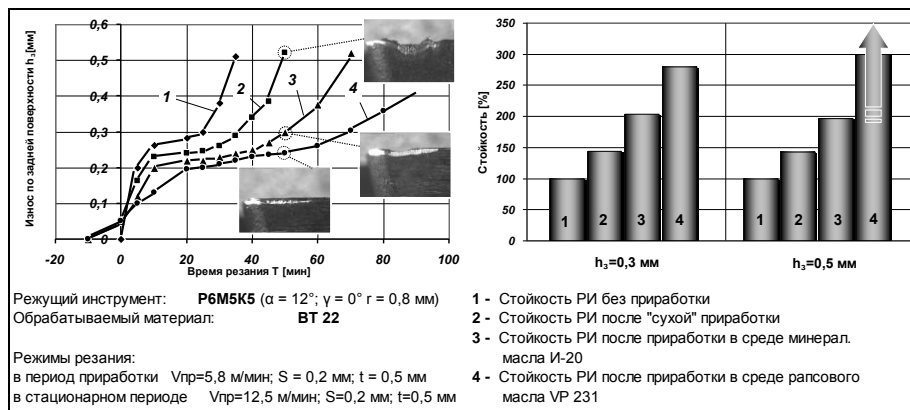


Рисунок 7 – Износ и стойкость быстрорежущего инструмента P6M5K5 при продольном точении титанового сплава BT22 после предварительной приработки в различных средах

Действие внешней среды в значительной мере зависит от свойств обрабатываемого материала. В этом плане хотелось бы отметить ряд определенных наблюдений состояния контактной поверхности инструмента после его приработки в различных средах. При резании химически активного титанового сплава BT22 контактные процессы сопровождаются интенсивными явлениями схватывания во всех средах. Участки контактных поверхностей, примыкающих к режущей кромке, покрыты заторможенным (застойным) слоем обрабатываемого материала, вытянутым в направлении схода стружки и завершающимся отдельными пятнами налипов. Однако, с переходом от «сухого» резания как к минеральному маслу «И-20», так и химически модифицированному рапсовому маслу VP 231 площади участков, покрытые заторможенным слоем и налипами, снижаются. При этом, адгезионные процессы в среде VP 231 менее выражены – налипшие частицы охрупчиваются, легко срываются и уносятся.

Итогом полученных результатов явилось существенное повышение стойкости предварительно приработанного в различных средах режущего инструмента в сравнении с инструментом эксплуатируемом по традиционной схеме (т.е. без приработки) на стационарных режимах «сухого» резания. Наибольший эффект (до 300 %) достигнут при подаче зону резания модифицированного состава технологической смазки VP 231, наименьший при приработке «всухую» и промежуточный – в среде И-20.

Несомненно, важна приложимость рассматриваемого метода упрочнения на операциях сверления труднообрабатываемых материалов, к которым относятся хромоникелевый порошковый сплав Sint-40-C (HRC 38...40). Результаты стойкостных исследований при сверлении указанного материала представлены на рисунке 8.

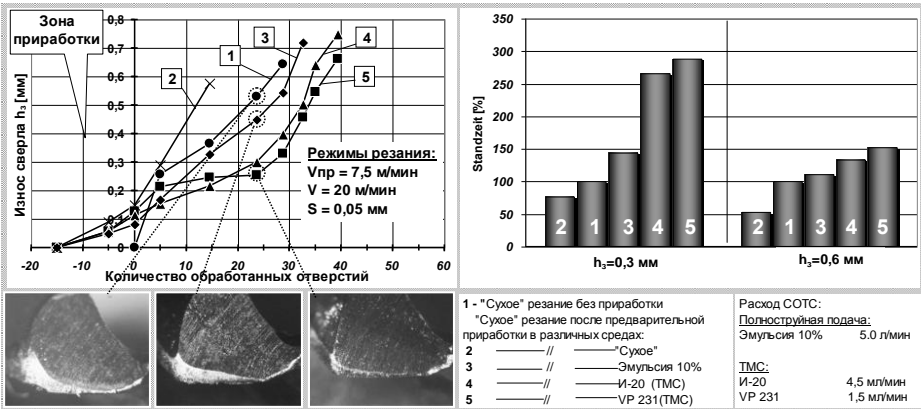


Рисунок 8 – Износ и стойкость быстрорежущего спирального сверла из Р6М5 при обработке сплава Sint-40-C после предварительной приработке в различных средах

Эффект снижения износа наиболее ощутим при эксплуатации сверла, упрочненного предварительной приработкой в среде VP 231. Как и следовало ожидать, он более полно проявляется в зоне нормального ( $h_z=0,3 \text{ мм}$ ) износа и снижается в зоне интенсивного ( $h_z=0,6 \text{ мм}$ ). Нужно отметить так же эффективность упрочнения приработкой в среде минерального масла И-20 и практическую нецелесообразность использования в этих условиях эмульсии и «сухого» резания.

Таким образом, при резании в диапазоне оптимальных температур (для быстрорежущей стали  $200...400^\circ\text{C}$ ) факторы, способствующие росту удельных нормальных нагрузок, обуславливают повышение степени упрочнения и износостойкости контактных слоев инструмента. В данных исследованиях такими факторами выступают свойства обрабатываемого материала и смазывающее действие СОТС. Процесс имеет деформационную природу и является следствием самоорганизации контактных процессов, предшествующих износу инструментов из быстрорежущей стали (резьбообразующий инструмент, протяжки, сверла, зенкера, развертки и т.д.), эксплуатируемых, по технологическим ограничениям, в диапазоне указанных температур. В общем рассмотрении, данный процесс открывает принципиально новый путь эффективного использования СОТС, а именно – по аналогии с трущимися парами применение их в качестве приработочных

масел при резании. Процесс расширяет перспективы внедрения в промышленность экологически безвредных масляных технологических сред на основе растительных масел, эксплуатация которых в сочетании с технологией минимального смазывания обеспечивают наибольший эффект упрочнения.

**Выводы:**

**1.** Смазочно-охлаждающие технологические среды, снижая площадь контакта стружки с передней поверхностью инструмента и повышая уровень нормальных нагружающих напряжений, усиливают деформационные процессы на его рабочих поверхностях, обуславливая в оптимальных условиях формирование контактных слоев упрочненной износостойкой структуры.

**2.** Оценка смазочного действия СОТС как фактора, обуславливающего упрочнение контактных слоев инструмента в режиме приработки, открывает принципиально новые пути их эффективного использования. С одной стороны, с учетом применения технологии минимального смазывания расширяется область внедрения в промышленность экологически чистых масел растительной природы, с другой – формируется основа для синтеза универсальных прирабочных смазок при резании металлов.

**Список использованных источников:** **1.** Weinert, K.; *Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung/ Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik* / Hrsg.: Weinert, K., Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio: Springer-Verlag, 1998. **2.** Верещака А.С., Лиерат Ф., Дюбнер Л., Анализ основных аспектов проблемы экологически безопасного резания // Сб. резание и инструмент в технологических системах. Вып. 57. – Харьков, ХГПУ, 2000, С. 29 – 34. **3.** Якубов Ч.Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием. - Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография» (СГТ), 2008. – 156 с. **4.** Энтелис С.Г., Берлинер Э.М. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием:.. Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. - 352 с., ил. **5.** Кундиев Ю.Н., Трахтенберг И.М., Поруцкий Г.В. Гигиена и токсикология смазочно-охлаждающих жидкостей для механической обработки металлов. - Киев: Здоровье, 1992. 120 с. **6.** Екологічні аспекти застосування МОР: Навч. Посібник / В.В. Березуцкий. – К.: ІЗМН, 1996. – 164 с. **7.** Облащикова И.Р. Исследование рапсового масла в качестве альтернативных смазочных материалов. Дисс. На стиск. Уч. Ст.. канд. техн. наук. Москва, 2004 – 104 с. **8.** Дмитриева Т.В. Сироватка Л.А., Бортницкий В.И. Композиции на основе рапсового масла и функциональных добавок // Трение и износ. Т. 22, №6. – 2001. - С. 693 – 698. **9.** Технологические смазки. Выпуск II. Тезисы докладов /под. Ред. д.т.н. проф. М.С.Пасечника. К., 1983. – 84 с. **10.** Менумеров Э.Р., Якубов Ч.Ф., Ваниев Э.Р. Повышение стойкости быстрорежущего инструмента путем применения функциональных добавок к СОТС на основе растительных масел. Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Выпуск 71. Харьков: НТУ «ХПИ» 2006г. – С. 99 – 102 **11.** Менумеров Э.Р., Якубов Ч.Ф., Аметов И.Э. О возможности повышения эксплуатационных характеристик СОТС на основе растительных масел. Вестник Хмельницкого национального университета №6 2006. – С. 44-48. **12.** Якубов Ф.Я. Энергетические соотношения процессов механической обработки материалов. – Ташкент: «ФАН», 1985. – 104 с. **13.** Кундрак Я.: Определение стойкости резцов из нитрида бора и длины пути резания в зависимости от различных факторов // Сб. научн. Тр. Резание и инструмент в технологических системах, Вып. 51, 1997, – С.144-147.

*Поступила в редколлегию 12.02.2010*